

УДК 622.7

**В.С. БІЛЕЦЬКИЙ**, д-р. техн. наук,  
**П.В. СЕРГЄЄВ**, канд. техн. наук, **Ю. ІРЯБЧУК**  
(Україна, Донецьк, Донецький національний технічний університет)

## **ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗНЕВОДНЕННЯ ВУГЛЕМАСЛЯНОГО АГЛОМЕРАТУ СОЛОНОГО ВУГІЛЛЯ**

Вичерпання запасів високоякісного вугілля обумовлює необхідність видобутку і переробки забалансової та низькоякісної паливної сировини. До такої, зокрема, належить так зване “солоне” вугілля, родовища якого відомі в Німеччині, Польщі, США, Україні, Казахстані, Росії, Чехії, Великобританії, Австралії та ін. країнах.

“Солоним” прийнято називати вугілля з аномально підвищеним вмістом лужних металів, в основному, натрію. Критерієм “солоності” більшість дослідників приймають вміст оксиду натрію ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) у вугіллі або його золі. В Україні до солоного зараховують вугілля зі вмістом  $\text{Na}_2\text{O} \geq 2\%$  в золі або  $0,3\%$  на суху масу вугілля [1]. Розвідані запаси солоного вугілля в Україні досить істотні – вони складають понад 10 млрд. т. і зосереджені, за даними Державного інституту мінеральних ресурсів (ДІМР), у Богданівському (Луганська область) та Новомосковському (Дніпропетровська область) родовищах [2].

Основні причини, які обумовлюють віднесення “солоного” вугілля до низькоякісної сировини є те, що легкоплавкі сполуки лужних металів, особливо натрію, викликають активне шлакування робочих поверхонь котлів при спалюванні вугілля. Крім того, хлор виступає як основний кородуючий агент, а також активно забруднює довкілля [3].

Сьогодні в світі опрацьовано декілька альтернативних варіантів переробки солоного вугілля – газифікація, спалювання, комплексна переробка, причому найрадикальнішим способом його облагороджування є знесолення вугілля промивкою, наприклад, суміщеною з гідротранспортом. Основним недоліком цієї технології є виникнення великої кількості тонких фракцій вугілля, які при своїй природній гідрофільності практично не піддаються ефективному зневодненню механічними засобами. Для уникнення цього недоліку в Донецькому національному технічному університеті опрацьована технологія знесолення вугілля типу “вугілля-агломерація”, яка передбачає його попереднє часткове обмаслення з подачею порівняно невеликої кількості апорного реагенту ( $Q_1$ ), знесолення промивкою у воді і подальшу агломерацію з використанням активних гідрофобних (обмаслених) ділянок на поверхні вугілля (друга подача аполярного агента -  $Q_2$ ).

У попередній роботі [4] нами методом планування експерименту розроблена регресійна чотирифакторна модель процесу знесолення вугілля за технологією “водна промивка - масляна агломерація – зневоднення агломерату”. Функція відгуку - залишковий вміст  $\text{Na}_2\text{O}$  у вугіллі.

Разом з тим, у вказаному ланцюжку процесів важливе значення відіграє

технологічна операція зневоднення агломерату солоного вугілля, яка раніше спеціально не досліджувалася.

Ця стаття є розвитком виконаних раніше досліджень. Автори ставлять на меті одержання регресійної моделі процесу зневоднення агломерату солоного вугілля з використанням планування експерименту.

Об'єктом досліджень служило вугілля пласта  $C_{12}$  Новомосковського родовища Західного Донбасу. Вміст  $Na_2O$  в цьому вугіллі становив 0,9 %, зольність – 10,9 %. Кернові проби вугілля попередньо подрібнювалися до крупності 0-3 мм. Для моделювання процесу зневоднення використовувалася модернізована центрифуга ЦЛС-3. Зв'язуюча речовина при агломерації – топковий мазут марки М100 з температурою загустіння  $30^{\circ}C$ , кінематичною в'язкістю 700 сСт ( $50^{\circ}C$ ).

Вибір факторів. На основі апріорної інформації про технологію “водна промивка - масляна агломерація – зневоднення агломерату” нами вибрані такі вхідні параметри, які найбільш суттєво впливають на процес зневоднення солоного вугілля: зовнішня питома поверхня вугілля, витрати зв'язуючої речовини і фактор Fr. При цьому, одним з найбільш цікавих моментів, який повинен бути встановлений планованим експериментом – ступінь впливу на вологість кеку обох подач аполярної зв'язуючої речовини -  $Q_1$  і  $Q_2$ .

Що стосується режимних параметрів агломерації, то як показано в роботах [5, 6] при їх варіюванні в раціональній області вони не впливають суттєво на вологість агломерату після його механічного зневоднення. Тому режим агломерації нами вибрано наступним: частота обертання імпеллера -  $1500 \text{ хв}^{-1}$ , температура середовища  $20^{\circ}C$ , показник рН – 7, Т:Р=1:3.

Таким чином, обрано чотири змінних фактора:  $S_{\text{пит}}$ , Fr,  $Q_1$  і  $Q_2$ . Вони задовольняють вимогам щодо факторів планованого експеримента: управляємість, однозначність, сумісність, незалежність.

Експериментальна область факторного простору. Зовнішня питома поверхні  $S_{\text{пит}}$  вугілля, знесоленого за технологією ДІМРу (0-3 мм), складає, згідно наших вимірювань за методом В.Товарова,  $1450 \text{ см}^2/\text{г}$ . Для вугілля крупністю 0-0,1 мм (варіант знесолення вугілля з метою подальшого зрідження або приготування водовугільних висококонцентрованих палив) зовнішня питома поверхня  $S_{\text{пит}}$  складає  $2650 \text{ см}^2/\text{г}$ . Тому діапазон варіювання параметра  $S_{\text{пит}}$  приймаємо рівним  $1500\text{-}2500 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Виходячи з раніше отриманих [4, 5] раціональних меж витрат зв'язуючої речовини зв'язуючого  $Q_1$  діапазон варіювання цього параметра вибираємо рівним 0,1-0,4 мас. %.

Витрати зв'язуючої речовини  $Q_2$  приймаємо 2,5-5,5 мас. % що, за нашими даними [5, 6], забезпечує як агломерацію вугілля, так і стійку роботу відсаджувальної центрифуги.

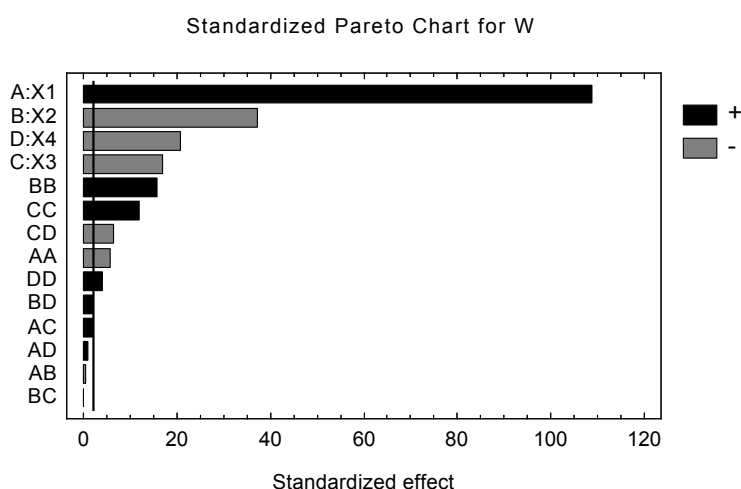
Діапазон зміни фактора Fr приймаємо 500-1100, що охоплює характеристики сучасних вітчизняних центрифуг.

Функція відгуку - вологість  $W_t^r$  вуглемасляного агломерату після

зневоднення на центрифугі ЦЛС-3.

Кодування факторів та інтервали їх варіювання наведено в таблиці.

Рівень факторів та інтервал варіювання	Параметр $S_{\text{пит}}$ , см <sup>2</sup> /г	Параметр $Q_2$ , мас. %	Параметр Fr	Параметр $Q_1$ , мас. %
Кодове позначення	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
Інтервал варіювання	500	1,5	300	0,15
Нижній рівень ( $X_i = -1$ )	1500	2,5	500	0,1
Основний рівень ( $X_i = 0$ )	2000	4,0	800	0,25
Верхній рівень ( $X_i = 1$ )	2500	5,5	1100	0,4



Для планування прийнятий рототабельний центрально-композиційний план експерименту, який забезпечує однакову точність моделі за всіма напрямками гіперпростору при мінімальній кількості експериментів. Обробка результатів експерименту виконана за комп'ютерною програмою “Statgraphics”.

Як видно з паретто-графіка (див. рис. 1) статистично значимими є коефіцієнти при лінійних та квадратичних членах рівняння регресії, а також коефіцієнт парної взаємодії  $X_3$ - $X_4$ . Інші коефіцієнти, які враховують ефекти парних взаємодій, статистично незначимі. При цьому, найбільш значимим (див. паретто-графік) є фактор “зовнішня поверхня” ( $X_1$ ). Далі за значимістю фактори знаходяться в ряду:  $X_2$ ,  $X_4$ ,  $X_3$ .

З урахуванням цього одержаний поліном (рівняння регресії) має вигляд:

$$W = 15,94 + 2,27 \cdot X_1 - 0,78 \cdot X_2 - 0,35 \cdot X_3 - 0,43 \cdot X_4 - 0,11 \cdot X_1^2 + 0,30 \cdot X_2^2 + 0,23 \cdot X_3^2 - 0,16 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,077 \cdot X_4^2$$

Проаналізуємо одержаний вираз. На рис. 2 та 3 відповідно показано тривимірні перетини гіперповерхні  $Y(X_n)$  та контурні криві цих поверхонь.

Як бачимо, зі збільшенням  $X_1$ , як і слід було очікувати, вологість кеку центрифуги зростає. Це добре ілюструють залежності  $Y = f(X_1)$  на рис. 2 а.

Особливий інтерес викликає оцінка впливу на результати зневоднення вуглемасляного агломерату солоного вугілля порцій (подач) зв'язуючої речовини  $Q_1$  і  $Q_2$  (відповідно фактори  $X_4$  і  $X_2$ ).

Як видно з рис. 2 зі збільшенням витрат реагенту вологість кеку центрифуги зменшується. При цьому, як витікає з паретто-графіка (рис. 1) та рівняння регресії, вплив фактора  $X_2$  ("реагент, порція-2") помітно більший, ніж вплив фактора  $X_4$  ("реагент, порція-1"), що можна пояснити точковим закріпленням порівняно малої порції-1 масляного реагента на вугільній поверхні. При зміні фактора  $X_2$  в межах 1-7 мас. % от -2 до +2) вологість кеку центрифуги зменшується з 24 до 11 % (рис. 2 а).

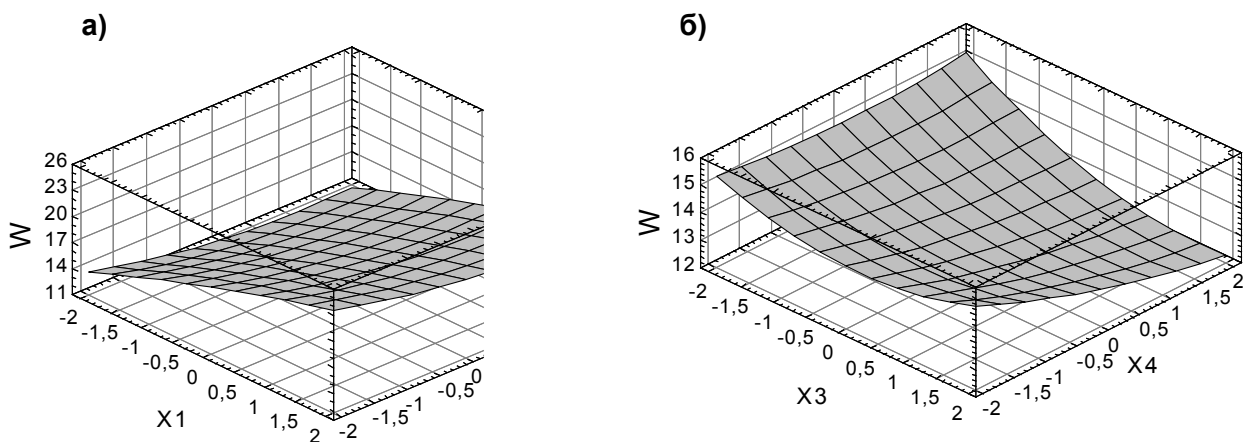
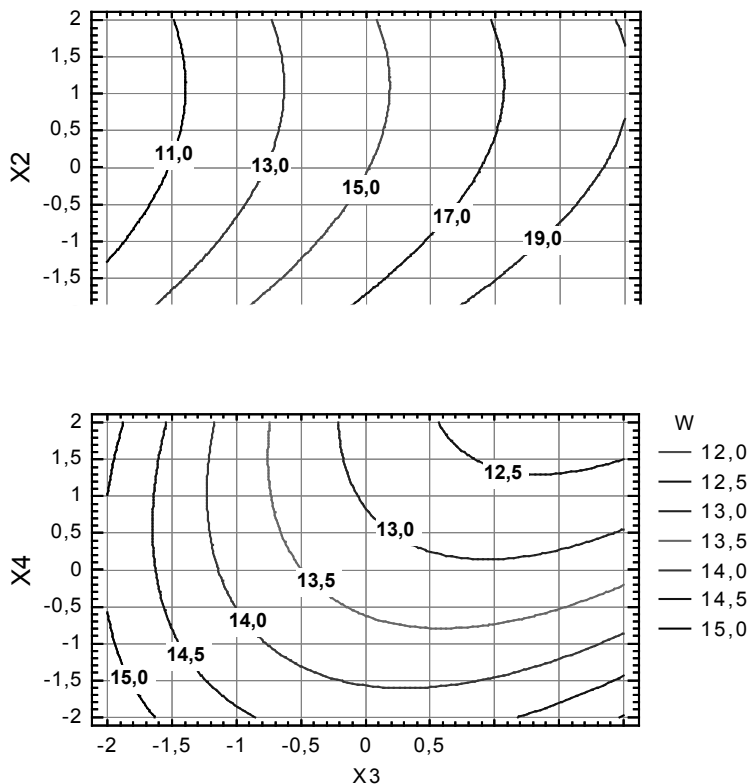


Рис.2 Тривимірні перетини гіперповерхні  $Y(X_n)$

Збільшення числа  $Fr$  позитивно впливає на результати зневоднення

досліджуваного матеріалу (рис. 2 б). Однак, цей вплив у області  $Fr = 400-1200$  в порівнянні з факторами  $X_1$  і  $X_2$  менш суттєвий, що, напевно, пояснюється особливими властивостями вуглемасляного агломерата як об'єкта зневоднення. Поверхня останнього має підвищену гідрофобність, а це обумовлює добру зневоднювальну здатність агломерату вже при малих значеннях чисел  $Fr$ .

Крім того, як видно з рис. 2 б, фактор Фруда ( $X_3$ ) більш суттєво впливає на результати зневоднення при більшій подачі першої порції реагенту ( $X_4$ ). Це, очевидно, пояснюється специфічними властивостями солоного вугілля, природна поверхня якого сильно гідрофілізована і тому має підвищену вологовтримувальну здатність. І навпаки, перша подача реагента ( $X_4$ ) більш дієва в плані зниження вологості кека при більших значеннях числа Фруда ( $X_3$ ).

Ці ефекти, простежувані на рис. 2 б, підтверджуються паретто-графіком, на якому коефіцієнт парної взаємодії  $CD (X_3X_4)$  є статистично значущим. При цьому коефіцієнт при члені  $X_3X_4$ , як видно із рівняння регресії, має значення „-0,1625”, що свідчить про відповідне зниження вологості агломерату при зростанні обох факторів.

### **Висновки**

Аналіз математичної моделі процесу зневоднення вуглемасляного агломерату солоного вугілля дозволяє зробити висновок, що найбільш значимими факторами, які впливають на вологість зневодненого агломерата є фактори  $X_1$  і  $X_2$ , тобто ті, що визначаються крупністю вихідного вугілля і витратами реагенту (друга порція) на агломерацію вугілля.

Використання суміщеного процесу “знесолення-агломерація” дозволяє знизити робочу вологість кека центрифуги при  $S_{\text{пит}} = 1500-2500 \text{ см}^2/\text{г}$  до 12-13 %, що суттєво переважає інші існуючі технічні рішення по механічному зневодненню дрібних вугільних класів гідрофілізованого вугілля.

Одержана математична модель може бути використана для прогнозування результатів зневоднення вуглемасляного агломерата солоного вугілля Західного Донбасу.

### **Список літератури**

1. **Шендрик Т.Г., Саранчук В.И.** Соленые угли. – Донецк: ДонГТУ, Східний видавничий дім. – 2003. – 296 с.
2. Перспективы освоения соленых углей Украины / **В.С.Белецкий, С.Д.Пожидаев, А.Кхелуфи, П.В.Сергеев.** - Донецк: ДонГТУ, УКЦентр, Східний видавничий дім - 1998. - 96 с.
3. **Білецький В.С.** Проблема переробки солоного вугілля//Праці Наукового Товариства ім. Шевченка. Т.Х. Хемія та біохемія. – Львів-2003. С. 205-227.
4. **Білецький В.С., Сергєєв П.В., Кхелуфі Абделькрім** Математичне моделювання процесу знесолення вугілля // Збагачення корисних копалин. № 16, 2002. С. 61-65.
5. **Білецький В.С., Сергєєв П.В., Папушин Ю.Л.** - Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля - Донецьк: Грань. - 1996. - 264 с.
6. Обезвоживание угольной гидросмеси методом масляной грануляции / **А.Т.Елишевич, В.С.Белецкий, Т.В.Карлина** // Обогащение полезных ископаемых. - К.: Техніка. -

*Надійшла до редколегії xx.xx.xxxx р.*

*Рекомендовано до публікації к.т.н. Ю.Л. Папушиним*

УДК 622.7

**Закономірності зневоднення вуглемасляного агломерату солоного вугілля/ Білецький В.С., Сергєєв П.В., Рябчук Ю. //Збагачення корисних копалин:Наук.-техн.зб.-2007.-Вип. –С.**

*Методом планування експерименту розроблена та проаналізована регресійна чотирифакторна модель процесу зневоднення вуглемасляного агломерату солоного вугілля. Встановлено, що найбільш значимими факторами, які впливають на вологість зневодненого агломерата є питома поверхня вихідного вугілля і витрати реагенту (друга порція) на агломерацію вугілля. Одержана математична модель може бути використана для прогнозування результатів зневоднення вуглемасляного агломерата солоного вугілля Західного Донбасу.*

*Методом планирования эксперимента разработана и проанализирована регрессионная четырехфакторная модель процесса обезвоживания углемасляного агломерата соленого угля. Установлено, что наиболее значимыми факторами, влияющими на влажность обезвоженного агломерата, являются удельная поверхность исходного угля и расход реагента (вторая порция) на агломерацию угля. Полученная математическая модель может быть использована для прогнозирования результатов обезвоживания углемасляного агломерата соленых углей Западного Донбасса.*